

Produkt- und Installationsbeschreibung

ESO Elektronische Stromoptimierung



Inhaltsverzeichnis

1	EINFÜHRUNG UND PRODUKTPHILOSOPHIE	3
1.1	Die Herausforderung moderner Stromnetze.....	3
1.2	Die ESO-Lösung: Ein paradigmatischer Ansatz	3
2	TECHNISCHE GRUNDLAGEN DER ENERGIEVERLUSTE	3
2.1	Das Leistungsdreieck und seine Bedeutung.....	3
2.2	Oberschwingungen: Die unsichtbaren Energievernichter.....	4
2.3	Der schlechte Leistungsfaktor als Kostentreiber.....	4
2.4	Spannungsschwankungen und Unsymmetrien.....	4
2.5	Transienten: Kurz, aber folgeschwer	5
3	DIE ESO-TECHNOLOGIE IM DETAIL.....	5
3.1	Das technologische Herzstück	5
3.2	Die dreifache Wirkungsweise.....	5
3.3	Die intelligente Steuerung	6
4	TECHNISCHE SPEZIFIKATIONEN	7
4.1	Elektrische Kennwerte.....	7
4.2	Mechanische Ausführung.....	7
4.3	Anzeige- und Messtechnik	8
4.3.1	Anzeigetechnik	8
4.3.2	Messtechnik	8
5	LIEFERUMFANG UND BENÖTIGTE MATERIALIEN	8
5.1	Im Lieferumfang enthalten.....	8
5.2	Zusätzlich benötigte Materialien	9
5.2.1	Elektrischen Anschlussmaterialien	9
5.2.2	Montagematerial.....	9
5.2.3	Werkzeuge und Hilfsmittel.....	9
6	INSTALLATIONSANLEITUNG	10
6.1	Standortwahl und Vorbereitung.....	10
6.2	Mechanische Montage	10
6.3	Elektrischer Anschluss.....	10
6.3.1	Vorbereitung der Anschlussleitungen.....	10
6.3.2	Anschluss an die ESO-Anlage	11
6.3.3	Installation der Rogowski-Spulen.....	11
6.3.4	Verlängerung der Messleitungen	11
6.3.5	Anschluss mehrerer ESO-Anlagen.....	12
7	INBETRIEBNAHME UND OPTIMIERUNG	12
7.1	Systematische Inbetriebnahme	12
7.1.1	Kontrollen vor dem ersten Einschalten	12
7.1.2	Der erste Start.....	12
7.1.3	Abnahmeprotokoll.....	12
7.2	So prüfen Sie die Wirkung Ihres ESO-Systems	13
7.2.1	Amperemessung: Vorher-Nachher-Vergleich	13
7.2.2	Netzqualitätsanalyse mit und ohne ESO	13
7.2.3	Lastgang-Auswertung: kW- und kvar-Daten	13
7.3	Optimierung und Feinabstimmung.....	13
7.3.1	Positionsoptimierung.....	13
8	WARTUNG UND FEHLERBEHEBUNG	14

8.1	Präventive Wartung.....	14
8.1.1	Regelmäßige Sichtkontrollen.....	14
8.1.2	Jährliche Wartung	14
8.2	Systematische Fehlerbehebung.....	14
8.2.1	Display zeigt unrealistische Werte	14
8.2.2	Display ausgefallen.....	15
8.2.3	Keine erkennbare Kompensation.....	15
8.2.4	Übermäßige Erwärmung (Sofortmaßnahmen)	15
8.3	Notfallmaßnahmen	16
8.3.1	Rauchentwicklung oder Brandgeruch.....	16
8.3.2	Wassereintritt.....	16
8.3.3	Mechanische Beschädigung.....	16
9	WIRTSCHAFTLICHKEIT UND EINSPARPOTENZIALE	16
9.1	Die ökonomische Dimension der Netzqualität	16
9.1.1	Direkte Energiekosteneinsparungen.....	16
9.1.2	Indirekte Kosteneinsparungen	17
9.2	Amortisationsrechnung.....	17
9.2.1	Investitionskosten.....	17
9.2.2	Jährliche Einsparungen.....	17
9.2.3	Amortisationszeit	17
10	SICHERHEIT, NORMEN UND ZERTIFIZIERUNGEN	18
10.1	Umfassende Sicherheitskonzeption	18
10.1.1	Elektrische Sicherheit	18
10.1.2	Thermische Sicherheit.....	18
10.1.3	Mechanische Sicherheit	18
10.2	Normkonformität.....	18
10.2.1	Niederspannungsrichtlinie 2006/95/EG	18
10.2.2	EMV-Richtlinie 2004/108/EG	19
10.2.3	RoHS-Richtlinie 2011/65/EU.....	19
10.2.4	EG-Konformität.....	19
10.3	Prüfungen und Zertifizierungen	19
10.3.1	Werkseitige Prüfung	19
10.3.2	Prüfung nach VDE 0701/0702	19
11	ANHÄNGE UND REFERENZEN	20
11.1	Wissenschaftliche Grundlagen.....	20
11.2	Technische Hintergrundinformationen.....	20
11.2.1	Das Problem der Spannungsreduktion.....	20
11.2.2	Berechnung der Verluste.....	20
11.3	Glossar.....	21
11.4	Normenverzeichnis.....	21
11.5	Kontaktinformationen.....	22
11.6	Kontaktinformationen Technischer Service.....	22
11.7	Technisches Datenblatt.....	23
11.8	EG-Konformitätserklärung	24
	SCHLUSSWORT	25

1 EINFÜHRUNG UND PRODUKTPHILOSOPHIE

1.1 Die Herausforderung moderner Stromnetze

In der heutigen industriellen und gewerblichen Umgebung stehen Unternehmen vor einer dualen Herausforderung: Sie müssen einerseits ihre Energiekosten senken, um wettbewerbsfähig zu bleiben, andererseits aber die Betriebssicherheit und Anlagenverfügbarkeit maximieren. Diese scheinbar gegensätzlichen Ziele erfordern innovative Lösungen, die über traditionelle Ansätze hinausgehen.

Die Realität in den meisten Betrieben zeigt, dass erhebliche Energieverluste nicht durch ineffiziente Maschinen oder Prozesse entstehen, sondern durch die mangelnde Qualität des betriebsinternen Stromnetzes. Moderne elektronische Geräte, Frequenzumrichter, LED-Beleuchtungen und computergesteuerte Anlagen haben die Charakteristik der elektrischen Last grundlegend verändert. Wo früher überwiegend lineare Verbraucher wie Glühlampen und einfache Motoren dominierten, prägen heute nichtlineare Lasten das Bild.

Diese Entwicklung hat zu einem Phänomen geführt, das vielen Unternehmern nicht bewusst ist: Versteckte Stromfresser im eigenen Netz. Diese manifestieren sich in Form von Blindströmen, Oberschwingungen, Spannungsschwankungen und Transienten - allesamt Störgrößen, die keine produktive Arbeit verrichten, aber dennoch Energie verbrauchen und Anlagen belasten.

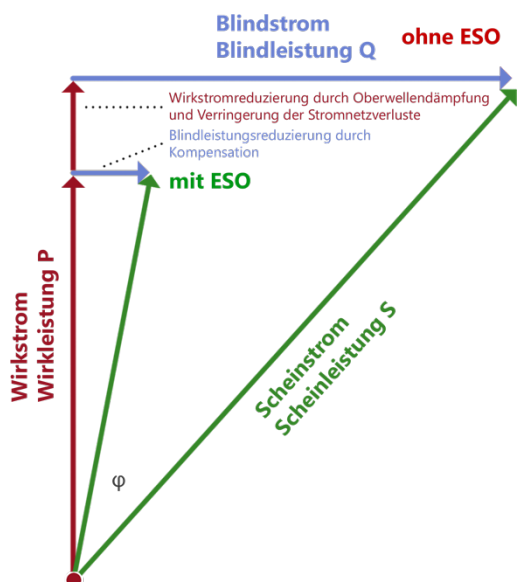
1.2 Die ESO-Lösung: Ein paradigmatischer Ansatz

Die ESO Elektronische Stromoptimierung repräsentiert einen fundamentalen Paradigmenwechsel in der Herangehensweise an Energieeffizienz. Anstatt die Spannung zu reduzieren - ein Ansatz, der bei motorintensiven Anwendungen nachweislich kontraproduktiv ist - setzt die ESO-Technologie direkt an der Wurzel des Problems an: der Qualität des Stroms selbst.

Das System arbeitet nach dem Prinzip der aktiven, dynamischen Netzqualitätsoptimierung. Es identifiziert in Echtzeit die verschiedenen Störfaktoren im Netz und kompensiert diese unmittelbar. Diese Herangehensweise basiert auf jahrzehntelanger Forschung im Bereich der Leistungselektronik und wurde speziell für die Anforderungen moderner Produktions- und Gewerbebetriebe entwickelt.

2 TECHNISCHE GRUNDLAGEN DER ENERGIEVERLUSTE

2.1 Das Leistungsdreieck und seine Bedeutung



Um die Funktionsweise der ESO-Anlage vollständig zu verstehen, ist es essentiell, die Grundlagen der elektrischen Leistung in Wechselstromnetzen zu kennen. In jedem Wechselstromnetz existieren drei Arten von Leistung, die zusammen das sogenannte Leistungsdreieck bilden:

Die Wirkleistung (P), gemessen in Kilowatt (kW), ist die tatsächlich nutzbare Leistung, die in mechanische Arbeit, Wärme oder andere Energieformen umgewandelt wird. Sie ist die einzige Leistungskomponente, die produktive Arbeit verrichtet und wird daher auch als die Leistung bezeichnet, für die Unternehmen bezahlen möchten.

Die Blindleistung (Q), gemessen in Kilovoltampere reaktiv (kvar), ist eine Leistungskomponente, die zwischen Quelle und Verbraucher hin und her pendelt. Sie wird von induktiven

Verbrauchern wie Motoren, Transformatoren und Leuchtstofflampen benötigt, um die für ihren Betrieb notwendigen Magnetfelder auf- und abzubauen. Obwohl diese Leistung keine Nutzarbeit verrichtet, belastet sie dennoch das gesamte Stromnetz und führt zu erhöhten Verlusten.

Die Scheinleistung (S), gemessen in Kilovoltampere (kVA), ist die geometrische Summe aus Wirk- und Blindleistung. Sie repräsentiert die gesamte Leistung, die vom Netz bereitgestellt werden muss, und bestimmt die Dimensionierung aller elektrischen Komponenten wie Kabel, Transformatoren und Schaltgeräte.

2.2 Oberschwingungen: Die unsichtbaren Energievernichter

Ein besonders kritisches Problem moderner Stromnetze sind Oberschwingungen. Diese entstehen, wenn nichtlineare Verbraucher - praktisch alle modernen elektronischen Geräte - den sinusförmigen Strom "zerhacken" und verzerren. Frequenzumrichter, Schaltnetzteile, LED-Beleuchtung, USV-Anlagen und viele andere Geräte erzeugen Stromkomponenten mit Frequenzen, die ganzzahlige Vielfache der Grundfrequenz von 50 Hz sind.

Diese harmonischen Ströme haben verheerende Auswirkungen auf die Energieeffizienz. Gemäß der fundamentalen Formel für thermische Verluste $P_{\text{verlust}} = I^2 \times R$ führt jeder zusätzliche Strom zu quadratisch steigenden Verlusten in Leitungen und Komponenten. Eine IEEE-Studie von Key und Lai aus dem Jahr 1997 zeigte, dass in einem typischen Bürogebäude bis zu 8% der aufgenommenen Wirkleistung allein durch Oberschwingungen als Wärme verloren gehen. In industriellen Anlagen liegt dieser Wert typischerweise zwischen 2 und 5%.

Besonders problematisch ist die Situation in Drehstromnetzen, wo sich die sogenannten Tripel-Oberschwingungen (3., 9., 15. Harmonische) im Neutralleiter addieren. Dies kann dazu führen, dass der Neutralleiterstrom das Dreifache des Außenleiterstroms erreicht - eine Situation, die nicht nur energetisch verschwenderisch ist, sondern auch ein erhebliches Sicherheitsrisiko darstellt.

2.3 Der schlechte Leistungsfaktor als Kostentreiber

Ein niedriger Leistungsfaktor ($\cos \phi$) ist einer der häufigsten und kostspieligsten versteckten Stromfresser in Unternehmen. Eine Studie des Zentralverbands Elektrotechnik- und Elektronikindustrie (ZVEI) aus dem Jahr 2013 kam zu dem bemerkenswerten Ergebnis, dass durch flächendeckende Blindleistungskompensation in Deutschland jährlich etwa 1,7 Terawattstunden Energie eingespart werden könnten - das entspricht etwa 8% der gesamten Netzverluste.

Um die Tragweite zu verstehen: Eine Anlage mit einem Leistungsfaktor von 0,7 zieht etwa 43% mehr Strom als eine perfekt kompensierte Anlage mit $\cos \phi = 1,00$, um dieselbe Nutzarbeit zu verrichten. Die daraus resultierenden I^2R -Verluste in den Zuleitungen verdoppeln sich nahezu. Diese zusätzlichen Verluste manifestieren sich als Wärme in Kabeln, Transformatoren und Schaltanlagen - Energie, die nicht nur verloren geht, sondern auch die Lebensdauer der Komponenten verkürzt.

2.4 Spannungsschwankungen und Unsymmetrien

Spannungsschwankungen und Phasenunsymmetrien sind weitere kritische Faktoren, die die Energieeffizienz beeinträchtigen. Schon eine geringe Spannungsunsymmetrie von 2-3% zwischen den Phasen kann bei Drehstrommotoren zu erheblichen Ausgleichsströmen führen. Diese Ausgleichsströme leisten keine Nutzarbeit, erzeugen aber zusätzliche Wärmeverluste und mechanische Vibrationen.

Die National Electrical Manufacturers Association (NEMA) empfiehlt, dass Motoren bei mehr als 1% Spannungsunsymmetrie derated werden sollten. Bei 3% Unsymmetrie darf ein Motor nur noch etwa 88% seiner Nennleistung aufnehmen, um Überhitzung zu vermeiden. Der Wirkungsgrad sinkt dabei um etwa 2 Prozentpunkte - eine erhebliche Verschlechterung, die sich direkt in höheren Energiekosten niederschlägt.

2.5 Transienten: Kurz, aber folgenschwer

Transienten - kurzzeitige Spannungsspitzen oder -einbrüche - werden oft unterschätzt, da sie nur Millisekunden dauern. Jedoch können diese kurzen Störimpulse erhebliche Auswirkungen haben. Sie entstehen bei Schaltvorgängen, beim Anlauf großer Motoren oder durch externe Einflüsse wie Blitzeinschläge.

Jeder Transient führt zu einem kurzzeitigen "Mikro-Jogging" bei Motoren - winzige, unkontrollierte Beschleunigungs- und Bremsimpulse, die sich in Vibrationen und zusätzlicher Wärmeentwicklung äußern. Darüber hinaus belasten Transienten die Isolation elektrischer Komponenten und können empfindliche Elektronik beschädigen. Die kumulierte Wirkung häufiger Transienten kann zu einem Mehrverbrauch von bis zu 1% führen, wobei die indirekten Kosten durch Komponentenausfälle oft deutlich höher sind.

3 DIE ESO-TECHNOLOGIE IM DETAIL

3.1 Das technologische Herzstück

Die ESO-Anlage ist weit mehr als eine einfache Kondensatorbank zur Blindleistungskompensation. Sie repräsentiert eine neue Generation von Energieoptimierungssystemen, die auf modernster Leistungselektronik und intelligenten Steuerungsalgorithmen basieren. Das System vereint drei wesentliche Technologien in einer kompakten Einheit:

- > Erstens, eine mikroprozessorgesteuerte Echtzeit-Analyseeinheit mit RTOS (Real-Time Operating System), die kontinuierlich den Zustand des elektrischen Netzes überwacht. Diese Einheit nutzt hochpräzise Rogowski-Spulen zur berührungslosen Strommessung und kann Änderungen im Netz innerhalb von Millisekunden erkennen und darauf reagieren.
- > Zweitens, ein modulares System von Hochleistungskondensatoren, die nicht einfach statisch zugeschaltet werden, sondern dynamisch und stufenlos an die aktuellen Netzbedingungen angepasst werden. Diese Kondensatoren sind speziell für den Dauerbetrieb unter industriellen Bedingungen ausgelegt und verfügen über eine außergewöhnlich hohe Lebensdauer.
- > Drittens, eine ausgeklügelte Filterstruktur, die sich automatisch aus der Kombination der Kondensatoren mit den vorhandenen Induktivitäten im Netz ergibt. Diese L-C-Schwingkreise wirken als passive Filter für Oberschwingungen und dämpfen gleichzeitig Transienten.

3.2 Die dreifache Wirkungsweise

Die ESO-Anlage arbeitet simultan auf drei Ebenen, um die Netzqualität zu optimieren:

- > **Dynamische Blindleistungskompensation:**
Das System misst kontinuierlich den aktuellen Blindleistungsbedarf des Netzes und stellt exakt die benötigte kapazitive Blindleistung zur Verfügung. Im Gegensatz zu herkömmlichen Kompensationsanlagen, die in festen Stufen arbeiten, kann die ESO-Anlage die Kompensation stufenlos und in Echtzeit anpassen. Dies ist besonders wichtig in Betrieben mit stark schwankenden Lasten, wo eine statische Kompensation entweder zu Unter- oder Überkompensation führen würde.

> **Die Wirkung ist unmittelbar messbar:**

Der Blindstrom, der normalerweise vom Energieversorger über das gesamte Verteilnetz bis zum Verbraucher fließen müsste, wird nun lokal bereitgestellt. Die Rogowski-Spulen erfassen präzise den Momentanwert des Stroms in jeder Phase, und der Mikroprozessor berechnet daraus den optimalen Kompensationsgrad. Innerhalb von Millisekunden werden die entsprechenden Kondensatorstufen aktiviert oder deaktiviert.

> **Oberschwingungsfilterung:**

Ein bemerkenswerter Nebeneffekt der dynamischen Kondensatorzuschaltung ist die Entstehung von abgestimmten Filterkreisen. Die Kondensatoren bilden zusammen mit den Induktivitäten der Motoren und Transformatoren L-C-Schwingkreise, die als Tiefpassfilter wirken. Diese Filter dämpfen die hochfrequenten Oberschwingungsströme erheblich und verbessern damit die Sinusform des Netzstroms.

Die Filterung erfolgt passiv, das heißt ohne zusätzlichen Energieaufwand. Die Oberschwingungsströme werden nicht einfach blockiert, sondern in den Filterkreisen "gefangen" und allmählich als Wärme dissipiert. Da diese Dissipation in den speziell dafür ausgelegten Komponenten der ESO-Anlage erfolgt und nicht in den empfindlichen Motorwicklungen oder Transformatoren, wird die thermische Belastung der Betriebsmittel deutlich reduziert.

> **Transientendämpfung:**

Die gleichen L-C-Kreise, die Oberschwingungen filtern, wirken auch als effektive Dämpfer für Transienten. Wenn eine Spannungsspitze auftritt, können die Kondensatoren kurzzeitig überschüssige Energie aufnehmen und so die Spitze "kappen". Umgekehrt können sie bei kurzzeitigen Spannungseinbrüchen gespeicherte Energie abgeben und so die Versorgung stabilisieren.

Diese Dämpfungswirkung ist besonders wertvoll für empfindliche elektronische Steuerungen und Frequenzumrichter, die durch Transienten beschädigt werden können. Die ESO-Anlage fungiert hier als eine Art "Stoßdämpfer" für das elektrische Netz.

3.3 Die intelligente Steuerung

Das Gehirn der ESO-Anlage ist ein hochentwickelter Mikrocontroller mit Echtzeit-Betriebssystem. Dieser Prozessor führt komplexe Berechnungen durch, um die optimale Kompensationsstrategie zu bestimmen. Dabei berücksichtigt er nicht nur den aktuellen Zustand des Netzes, sondern auch historische Daten und Trends.

- > Die Software analysiert kontinuierlich verschiedene Parameter:
- > Den Momentanwert von Strom und Spannung in allen drei Phasen
- > Den Phasenwinkel zwischen Strom und Spannung (zur Bestimmung des Leistungsfaktors)
- > Das Oberschwingungsspektrum bis zur 50. Harmonischen
- > Die Symmetrie zwischen den Phasen
- > Transiente Ereignisse und deren Häufigkeit

Basierend auf dieser Analyse trifft das System Entscheidungen in Echtzeit. Es kann beispielsweise erkennen, wenn ein großer Motor anläuft und prophylaktisch zusätzliche Kompensation bereitstellen, um Spannungseinbrüche zu vermeiden. Oder es kann die Filterkennlinie anpassen, wenn sich das Oberschwingungsspektrum durch Zuschalten von Frequenzumrichtern ändert.

4 TECHNISCHE SPEZIFIKATIONEN

4.1 Elektrische Kennwerte

Die ESO-Anlage ist für ein breites Spektrum von Anwendungen ausgelegt. Die elektrischen Spezifikationen wurden so gewählt, dass das System in praktisch allen industriellen und gewerblichen Umgebungen eingesetzt werden kann:

> **Betriebsspannung:**

Das System ist in verschiedenen Spannungsvarianten erhältlich, um den weltweiten Einsatz zu ermöglichen. Die Standardausführungen umfassen 120V/240V für nordamerikanische Netze, 230V/380V für europäische Netze und 240V/480V für industrielle Hochleistungsanwendungen. Alle Varianten sind für dreiphasigen Betrieb ausgelegt, können aber auch in einphasigen Netzen eingesetzt werden.

> **Frequenzbereich:**

Die Anlage arbeitet sowohl in 50-Hz-Netzen (Europa, Asien, Afrika) als auch in 60-Hz-Netzen (Nord- und Südamerika) ohne Modifikation. Die automatische Frequenzerkennung stellt sicher, dass die Filtercharakteristik optimal auf die jeweilige Netzfrequenz abgestimmt ist.

> **Kompensationsleistung:**

Je nach Modell kann die ESO-Anlage bis zu 200 Ampere reaktiven Strom pro Phase kompensieren. Bei größeren Anlagen können mehrere Einheiten parallel geschaltet werden, um die Kompensationsleistung zu erhöhen. Die Skalierbarkeit ist ein wesentlicher Vorteil des Systems, da es mit dem Wachstum des Unternehmens erweitert werden kann.

> **Eigenverbrauch:**

Trotz seiner komplexen Funktionalität benötigt das System selbst nur etwa 25 Watt für den Betrieb der Steuerungselektronik. Dieser minimale Eigenverbrauch wird durch die erzielten Einsparungen um ein Vielfaches überkompensiert.

4.2 Mechanische Ausführung

Das Gehäuse der ESO-Anlage wurde für raue industrielle Umgebungen entwickelt. Es besteht aus hochwertigem, pulverbeschichtetem Stahlblech in der Standardfarbe RAL 7035 (Lichtgrau). Die Standardabmessungen von 60 cm × 60 cm × 22 cm bieten ein optimales Verhältnis zwischen Kompaktheit und Zugänglichkeit für Wartungsarbeiten.

Das Gewicht variiert je nach Leistungsstufe zwischen 25 und 38 kg. Trotz des Gewichts ist die Wandmontage problemlos möglich, da robuste Halterungen mitgeliefert werden.

Die Schutzart IP42 gewährleistet Schutz gegen feste Fremdkörper mit einem Durchmesser von 1mm oder mehr und gegen schräg fallendes Tropfwasser.

Der Temperaturbereich von -40°C bis +75°C ermöglicht den Einsatz unter extremen Bedingungen. Die verwendeten Komponenten sind für diese Temperaturen spezifiziert und garantieren eine lange Lebensdauer auch unter thermischer Belastung.

4.3 Anzeige- und Messtechnik

4.3.1 Anzeigetechnik

Die ESO-Anlage verfügt über Mess- und Anzeigemöglichkeiten, die dem Betreiber jederzeit einen Überblick über den Zustand des Netzes und die Wirksamkeit der Kompensation geben. Unterhalb der Displays ist eine Zeile mit LEDs, die die Nutzung von Gerät, Kondensatoren und Softwarefunktion anzeigen. Die LED am rechten Ende zeigt Softwarefunktion durch dauerhaftes blinken, die übrigen LED die jeweils zugeschalteten Kondensatoren.



Die Displays zeigen kontinuierlich die wichtigsten Parameter an:

- > V = Effektivwert der Spannung U_{eff} in Volt
- > A = Fließender Strom I in Ampere
- > PF = Zeigt die momentane Verbesserung des Leistungsfaktors $\cos \phi$ an
- > F = Frequenz in Hertz
- > Save percent = Reduzierung der momentanen Stromaufnahme (Ampere) in %

4.3.2 Messtechnik

Die Rogowski-Spulen sind das Herzstück der Messtechnik. Diese innovativen Stromwandler bieten gegenüber herkömmlichen Stromwandlern erhebliche Vorteile:

- > Keine Sättigung auch bei sehr hohen Strömen
- > Lineare Kennlinie über den gesamten Messbereich
- > Einfache Installation ohne Unterbrechung des Stromkreises
- > Keine Beeinflussung des gemessenen Stroms

5 LIEFERUMFANG UND BENÖTIGTE MATERIALIEN

5.1 Im Lieferumfang enthalten

Wenn Sie eine ESO-Anlage erwerben, erhalten Sie ein komplettes System, das bis auf die Installationsmaterialien alles Notwendige enthält:

Das Hauptgerät wird sicher in einem robusten Karton verpackt geliefert, der auch als Transportschutz bei einer eventuellen Standortverlegung dienen kann. Auf dem Karton ist eine Bohrschablone aufgedruckt, die die exakte Positionierung der Befestigungslöcher erleichtert.

Die drei Rogowski-Spulen werden innerhalb der Anlage mitgeliefert. Jede Spule verfügt über ein 5 Meter langes, abgeschirmtes Anschlusskabel. Diese Länge ist in den meisten Fällen ausreichend, um vom Installationsort der ESO-Anlage zu den Hauptstromleitungen zu gelangen. Die Spulen sind eindeutig mit L1, L2 und L3 gekennzeichnet, um Installationsfehler zu vermeiden.

Die Wandhalterungen sind aus verzinktem Stahl gefertigt und für die dauerhafte Belastung durch das Gewicht der Anlage ausgelegt. Sie ermöglichen eine sichere und vibrationsfreie Montage an der Wand.

Die technische Dokumentation umfasst:

- > Diese Produkt- und Installationsbeschreibung
- > Ein individuelles Prüfprotokoll nach VDE 0701/0702
- > Ein vorbereitetes Abnahmeprotokoll für Ihre Unterlagen
- > Die CE-Konformitätserklärung
- > Sicherheitsdatenblätter für die verwendeten Komponenten

5.2 Zusätzlich benötigte Materialien

5.2.1 Elektrischen Anschlussmaterialien

Für eine fachgerechte Installation benötigen Sie folgende Materialien (Grundausrüstung und Beispiel), die nicht im Lieferumfang enthalten sind:

- > NYM-J 5 × 6,0 mm²
- > 2-adriges Kabel in Schwarz für eventuelle Verlängerung der 3 Messzangen (Stromwandler/Rogowski Spulen)
- > LIYCY 2×0,75 mm² Daten- und Steuerleitung, CU-Schirm (alternativ J-Y(ST)Y 4×2×0,8 Telefonkabel)
- > LötKolben für evtl. Verlängerung des 2-adrigen Kabels
- > Schrumpfschlauch
- > Alternativ Abzweigdose
- > Dübel und Schrauben (min. 10mm; oder je nach Beschaffenheit der Befestigungswand)
- > Sicherungsblock, wenn benötigt, je nach Unternehmen
- > 25A Sicherungen
- > Amperemesszange zum Erstellen des Abnahmeprotokolls

5.2.1.1 Erweiterte Beschreibung der Elektrischen Anschlussmaterialien

Das Hauptanschlusskabel sollte als NYM-J 5 × 6,0 mm² ausgeführt werden. Dieser Kabelquerschnitt ist für die maximale Belastung der Anlage ausreichend dimensioniert und bietet Reserven für zukünftige Erweiterungen. Die Länge richtet sich nach der Entfernung zwischen dem Einspeisepunkt und dem Installationsort der ESO-Anlage.

Die Absicherung erfolgt über drei 25-Ampere-Sicherungen, die in einem geeigneten Sicherungshalter oder Sicherungsblock untergebracht werden. Die Sicherungen sollten vom Typ gG (früher "träge") sein, um den kurzzeitigen Einschaltstrom der Kondensatoren zu tolerieren.

5.2.2 Montagematerial

Die Befestigung an der Wand erfordert geeignete Dübel und Schrauben. Bei Betonwänden empfehlen sich Schwerlastdübel mit mindestens 10 mm Durchmesser. Bei Hohlwänden oder Leichtbauwänden müssen spezielle Hohlraumdübel verwendet werden, die die Last auf eine größere Fläche verteilen.

5.2.3 Werkzeuge und Hilfsmittel

Für die Installation benötigen Sie die üblichen Elektrowerkzeuge sowie einen LötKolben mit Schrumpfschlauch für eventuelle Kabelverlängerungen. Eine Strommesszange ist erforderlich, um die Wirksamkeit der Kompensation zu überprüfen und das Abnahmeprotokoll auszufüllen.

6 INSTALLATIONSANLEITUNG

6.1 Standortwahl und Vorbereitung

Die Wahl des richtigen Installationsortes ist entscheidend für die optimale Funktion und Lebensdauer der ESO-Anlage. Der ideale Standort erfüllt folgende Kriterien:

- > Der Raum sollte trocken und gut belüftet sein. Obwohl die ESO-Anlage nur minimale Wärme erzeugt, ist eine ausreichende Luftzirkulation wichtig, um Kondensation zu vermeiden und die optimale Betriebstemperatur zu gewährleisten. Der Abstand zu Wärmequellen wie Heizungen oder sonnenbeschienenen Fenstern sollte mindestens 1 Meter betragen.
- > Die Anlage sollte möglichst nahe am Hauptverteiler oder den großen induktiven Verbrauchern installiert werden. Je kürzer die Wege für die Kompensationsströme, desto effektiver ist das System. Idealerweise wird die ESO-Anlage im gleichen Raum wie der Hauptverteiler montiert.
- > Der Zugang zur Anlage muss für Wartungsarbeiten und Kontrollen jederzeit gewährleistet sein.
- > Die Wand muss die Last der Anlage (bis zu 38 kg) sicher tragen können. Bei Hohlwänden oder zweifelhafter Tragfähigkeit sollte eine Verstärkung oder ein Standgestell in Betracht gezogen werden.

6.2 Mechanische Montage

Die mechanische Montage beginnt mit dem Übertragen der Bohrschablone auf die Wand.

Bohren Sie die Löcher entsprechend der Schablone. Der Bohrdurchmesser richtet sich nach den verwendeten Dübeln. Achten Sie darauf, dass die Bohrlöcher tief genug sind, um die Dübel vollständig aufzunehmen.

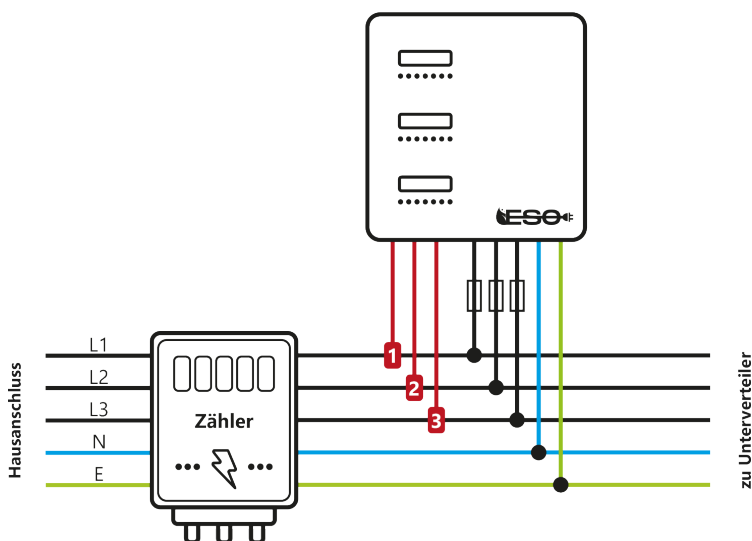
Setzen Sie die Dübel ein und verschrauben Sie die Wandhalterungen fest mit der Wand. Die Halterungen müssen absolut fest sitzen.

Hängen Sie die ESO-Anlage in die Halterungen ein. Achten Sie darauf, dass die Anlage sicher in den Halterungen sitzt und sich nicht bewegen lässt.

6.3 Elektrischer Anschluss

6.3.1 Vorbereitung der Anschlussleitungen

Verlegen Sie das NYM-J 5 × 6,0 mm² Kabel vom Einspeisepunkt zur ESO-Anlage. Das Kabel sollte in geeigneten Kabelkanälen oder Rohren verlegt werden, um mechanischen Schutz zu gewährleisten. Vermeiden Sie scharfe Knickpunkte und achten Sie auf ausreichenden Abstand zu Wärmequellen.



Installieren Sie den Sicherungshalter mit den 25A-Sicherungen an einer gut zugänglichen Stelle. Die Sicherungen müssen vor der ESO-Anlage installiert werden und jederzeit zugänglich sein. Beschriften Sie den Sicherungshalter eindeutig mit "ESO-Kompensation" oder ähnlich.

6.3.2 Anschluss an die ESO-Anlage

Öffnen Sie die Anschlussklemmenabdeckung der ESO-Anlage. Die Klemmen sind eindeutig beschriftet mit L1, L2, L3, N und PE.

Entfernen Sie etwa 10 mm der Isolierung von den Kabelenden. Die blanken Enden sollten sauber und ohne ausgefranzte Drähte sein. Bei fein drahtigem Kabel verwenden Sie Aderendhülsen, um einen sicheren Kontakt zu gewährleisten.

Führen Sie die Kabel in die entsprechenden Klemmen ein und ziehen Sie die Schrauben mit dem vorgeschriebenen Drehmoment von 2,5 Nm an. Ein zu lockerer Anschluss führt zu Erwärmung und Spannungsabfall, ein zu festes Anziehen kann die Klemme beschädigen.

Der Schutzleiter (PE) muss als erstes angeschlossen und als letztes gelöst werden.

6.3.3 Installation der Rogowski-Spulen

Die korrekte Installation der Rogowski-Spulen ist entscheidend für die präzise Messung und damit für die optimale Funktion der ESO-Anlage. Jede Spule muss um den entsprechenden Phasenleiter gelegt werden:

Öffnen Sie die Rogowski-Spule, indem Sie den Verschlussmechanismus lösen. Die Spulen sind flexibel und können um Kabel beliebigen Durchmessers gelegt werden. Achten Sie darauf, dass die Spule vollständig geschlossen ist, da sonst die Messung verfälscht wird.



Die Orientierung der Spule ist wichtig: Der Pfeil (siehe 6.3.3.1 falls fehlend) auf dem Verschluss der Spule muss in Richtung des Energieflusses zeigen, also vom Einspeisepunkt zum Verbraucher. Eine falsche Orientierung führt zu einer Vorzeichenumkehr (negativer PF-Wert) bei der Messung und damit zu Fehlfunktionen.

Die Zuordnung der Spulen zu den Displays muss korrekt sein:

- > Die **grüne** Spule an **L1** wird dem **oberen Display** zugeordnet.
- > Die **gelbe** Spule an **L2** wird dem **mittleren Display** zugeordnet.
- > Die **rote** Spule an **L3** wird dem **unteren Display** zugeordnet.

Stellen Sie sicher, dass sich die Spulen während des Betriebs nicht bewegen können. Bewegung der Spulen während des Betriebs kann zu Messfehlern führen. Der Mindestabstand zu anderen stromführenden Leitern sollte 10 cm betragen, um Störeinflüsse zu minimieren.

6.3.3.1 Hinweise bei fehlender Flussrichtungsmarkierung

Prüfen Sie nach der Inbetriebnahme, ob alle Displays positive (+) PF-Werte aufweisen. Ist dies nicht der Fall, drehen Sie die Spule der betroffenen Phase um 180 Grad, um die Messrichtung zu korrigieren.

6.3.4 Verlängerung der Messleitungen

Falls die 5 Meter Standardlänge der Messleitungen nicht ausreicht, können diese verlängert werden. Dies sollte jedoch nur wenn unbedingt nötig erfolgen, da jede Verlängerung eine potenzielle Fehlerquelle darstellt. Die *maximale Verlängerungslänge* beträgt 8 Meter.

Verwenden Sie ausschließlich geschirmtes Kabel (LIYCY 2x0,75 mm², J-Y(ST)Y 4x2x0,8 Telefonkabel oder gleichwertig). Die Schirmung ist essentiell, um die empfindlichen Messsignale vor elektromagnetischen Störungen zu schützen. Die Verbindung sollte gelötet und mit Schrumpfschlauch isoliert werden. Klemmverbindungen sind zu vermeiden, da sie sich lockern können und dann zu intermittierenden Fehlern führen. Die Schirmung muss durchgehend verbunden und an beiden Enden aufgelegt werden.

6.3.5 Anschluss mehrerer ESO-Anlagen

Bei Installation mehrerer ESO-Anlagen führen Sie die beschriebenen Schritte für jede Anlage an ihrem jeweiligen Installationsort separat durch. Mehrere ESO-Anlagen an einem Verteiler bilden eine Einheit und benötigen nur ein gemeinsames Abnahmeprotokoll. Die Geräte arbeiten unabhängig voneinander.

7 INBETRIEBNAHME UND OPTIMIERUNG

7.1 Systematische Inbetriebnahme

7.1.1 Kontrollen vor dem ersten Einschalten

Bevor Sie die Anlage zum ersten Mal einschalten, müssen alle Verbindungen nochmals gründlich überprüft werden, um Probleme bei der Inbetriebnahme, die auf einfache Anschlussfehler zurückzuführen sind, zu vermeiden.

Stellen Sie sicher, dass alle die drei ferromagnetischen Strommessfühler (Rogowski-Spulen) richtig geschlossen und orientiert sind. Eine nicht vollständig geschlossene Spule führt zu Messfehlern. Die Pfeile (sofern vorhanden) auf allen Spulen müssen in die gleiche Richtung, vom Hausanschluss zum Verbraucher zeigen.

7.1.2 Der erste Start

Legen Sie die Sicherungen ein und schalten Sie die Spannungsversorgung zu. Die ESO-Anlage durchläuft nun eine Initialisierungssequenz, die etwa 30 Sekunden dauert. Während dieser Zeit führt das System Selbsttests durch und kalibriert die Messkreise.

Nach erfolgreichem Systemstart sollten die Displays aufleuchten und erste Messwerte anzeigen. Das obere Display zeigt die Werte für Phase L1, das mittlere für L2 und das untere für L3. Wenn alle drei Displays aktiv sind und plausible Werte zeigen (Spannung um 230V, Strom entsprechend der Last, PF positiv und unter 1,00), war der Start erfolgreich.

Zeigt ein Display dauerhaft negative (-) PF-Werte, kontrollieren Sie die Flussrichtung, wie in 6.3.3.1 beschrieben.

Die LED-Anzeigen sollten überwiegend leuchten. Aufblinkende LED während der ersten Minuten sind normal, da sich das System erst auf die Netzverhältnisse einstellen muss.

7.1.3 Abnahmeprotokoll

Nach der Installation des ESO-Systems muss eine formelle Abnahmeprüfung durchgeführt werden. Hierzu gehört die vollständige Dokumentation mittels des beigefügten Installations- und Abnahmeprotokolls.

Das Protokoll umfasst drei wesentliche Schritte:

- > die Überprüfung der Displaydaten im Rahmen der Sollwerte (einschließlich der PF-Werte der einzelnen Phasen),
 - > die Videodokumentation aller Displays und des Typenschilds per WhatsApp an +49 155 610 234 79,
 - > eine Stromstärkemessung ohne und mit aktiviertem ESO®-System für jede Phase.
-

Die vollständig ausgefüllte Dokumentation und das Abnahmevideo sind erforderlich für die Geltendmachung von Garantie- und Gewährleistungsansprüchen. Ohne schriftliche Einreichung beider Unterlagen erlischt jeglicher Garantieanspruch.¹

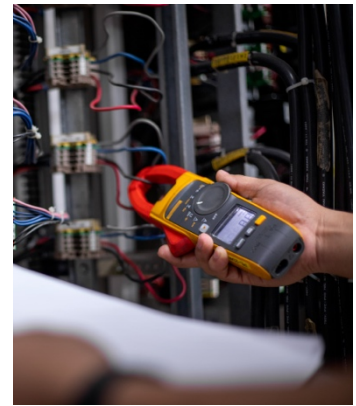
¹ Vgl. jeweils aktuelle AGB (eso-anlage.de/downloads)

7.2 So prüfen Sie die Wirkung Ihres ESO-Systems

7.2.1 Amperemessung: Vorher-Nachher-Vergleich

Eine einfache Möglichkeit ist die Strommessung direkt vor und nach dem Einschalten der ESO-Anlage. Dafür wird die Anlage über die Sicherungen deaktiviert, der Strom an mehreren Leitungen (L1, L2, L3) gemessen, und danach erneut bei eingeschalteter Anlage geprüft. Bei gleichbleibender Last lässt sich in der Regel eine Reduktion der Stromstärke feststellen: Ein direkt sichtbarer Hinweis auf reduzierte Netzverluste.

Diese Methode ist schnell, unkompliziert, aber abhängig vom momentanen Verbrauch und betriebsbedingten Schwankungen (Momentaufnahme).



7.2.2 Netzqualitätsanalyse mit und ohne ESO

Für eine detaillierte Auswertung kann ein Netzanalysator über mehrere Tage eingesetzt werden. Zuerst wird das Stromnetz ohne ESO gemessen, anschließend mit aktiver Anlage. Gemessen werden dabei u. a. Blindleistung, Harmonische (THD), Spannungsschwankungen und der Leistungsfaktor. Optional kann auch ein Oszilloskop verwendet werden, um Oberwellen sichtbar zu machen: ESO glättet diese spürbar.

Diese Methode liefert eine aussagekräftige Analyse zur Netzqualität und Systemverbesserung.



7.2.3 Lastgang-Auswertung: kW- und kvar-Daten

Wenn Ihr Energieversorger oder Ihr Energiemanagementsystem Lastgangdaten bereitstellt, lässt sich auch im Nachhinein ein Effekt nachweisen. Dafür werden die Daten vor und nach Inbetriebnahme der ESO-Anlage ausgewertet. Dabei zeigt sich eine Senkung der Blindleistung (kvar) sowie eine Verbesserung des Leistungsfaktors, gerade bei Maschinenlasten oder stark schwankenden Prozessen.

Diese Methode ist besonders geeignet für langfristige Nachweise.



7.3 Optimierung und Feinabstimmung

7.3.1 Positionsoptimierung

Falls sehr lange Kabelwege zwischen der ESO-Anlage und den Hauptverbrauchern bestehen, kann es sinnvoll sein, über eine dezentrale Installation nachzudenken. Mehrere Module des ESO-Systems, die näher an den Verbrauchern positioniert sind, können effektiver sein als eine zentrale große Anlage.

8 WARTUNG UND FEHLERBEHEBUNG

8.1 Präventive Wartung

Die ESO-Anlage ist *wartungsfrei konstruiert*, dennoch verlängern regelmäßige Kontrollen die Lebensdauer und sichern die optimale Funktion.

8.1.1 Regelmäßige Sichtkontrollen

Bei Rundgängen sollte ein kurzer Blick auf die ESO-Anlage geworfen werden:

- > Leuchten alle Displays normal?
- > Gibt es ungewöhnliche LED-Anzeigen?
- > Ist die Umgebungstemperatur im normalen Bereich?

Prüfen Sie die Temperatur des Gehäuses mit der Hand. Es sollte sich höchstens handwarm anfühlen. Übermäßige Erwärmung deutet auf Probleme hin. Kontrollieren Sie die Umgebung auf Staubansammlungen. Obwohl das Gehäuse geschlossen ist, kann sich Staub auf den Lüftungsöffnungen ablagern und die Kühlung beeinträchtigen.

Diese einfachen Kontrollen können frühzeitig auf Probleme hinweisen und größere Schäden verhindern.

8.1.2 Jährliche Wartung

Prüfung nach VDE 0701/0702: Diese normgerechte Prüfung dokumentiert die elektrische Sicherheit der Anlage und ist oft auch aus versicherungstechnischen Gründen erforderlich.

8.2 Systematische Fehlerbehebung

Trotz robuster Konstruktion können gelegentlich Probleme auftreten. Die meisten lassen sich schnell beheben, wenn systematisch vorgegangen wird.

8.2.1 Display zeigt unrealistische Werte

Symptom: Der Leistungsfaktor wird als negativ, stark schwankend oder konstant 1,0 angezeigt.

Dies ist das häufigste Problem und hat meist einfache Ursachen:

- > **Schritt 1:** Überprüfen Sie alle Steckverbindungen. Oxidation oder Lockern der Kontakte kann zu Messfehlern führen. Ziehen Sie alle Stecker ab, reinigen Sie die Kontakte und stecken Sie sie wieder fest ein.
- > **Schritt 2:** Führen Sie einen Software-Reset durch. Schalten Sie die ESO-Anlage aus, warten Sie mindestens 3 Minuten (damit sich die Kondensatoren entladen), und schalten Sie wieder ein. Dies löst oft temporäre Softwareprobleme.
- > **Schritt 3:** Drehen Sie die betroffene Rogowski-Spule um 180°. Eine falsche Orientierung ist die häufigste Ursache für negative Leistungsfaktor-Anzeigen.
- > **Schritt 4:** Überprüfen Sie die Phasenzuordnung. Tauschen Sie testweise die Rogowski-Spulen zwischen den Phasen. Wenn das Problem "mitwandert", liegt es an der Spule, wenn es an der gleichen Phase bleibt, liegt es an der Verkabelung.

Weitere Fehlerquellen bei falschen Messwerten:

- > **Falsche Phasenzuordnung:** Überprüfen Sie, dass alle Rogowski-Spulen korrekt mit den entsprechenden Phasen verbunden sind. Beispiel: Die Rogowski-Spule für Phase L1 muss an dem Kabel der Versorgungsphase L1 angebracht sein. Prüfen Sie alle Anschlüsse auf Festigkeit und messen Sie die Stromzufuhr zur Verifizierung.

- > **Rogowski-Spulen falsch herum angebracht:** Falls die Spulen um 180 Grad verdreht werden müssen, liegt oft vor, dass sie beim Anbringen an den Stromkabeln falsch herum positioniert sind. Drehen Sie die Spule um 180 Grad, um die Messung zu korrigieren.
- > **Zu wenige induktive Lasten:** Überprüfen Sie, ob ausreichend induktive Verbraucher in Betrieb sind (Motoren, Pumpen, Kompressoren, Transformatoren, etc.). Die ESO-Anlage kann nur induktive Lasten kompensieren. Bei reinen ohmsch-kapazitiven Lasten ist keine Kompensation möglich oder nötig.

8.2.2 Display ausgefallen

Symptom: Das Display zeigt keine Anzeige oder ist völlig dunkel.

Führen Sie folgende Schritte systematisch durch:

- > **Schritt 1:** Überprüfen Sie zunächst alle Steckverbindungen zwischen der Steuerplatine und dem Display. Lockere oder beschädigte Kontakte sind die häufigste Ursache.
- > **Schritt 2:** Tauschen Sie das fehlerhafte Display testweise mit einem funktionierenden Display (von einer anderen Phase oder Anlage) aus, um auszuschließen, dass das Display selbst defekt ist. Wenn das ausgetauschte Display funktioniert, liegt der Fehler beim originalen Display.
- > **Schritt 3:** Prüfen Sie die Steuerplatine auf Stromversorgung. Messen Sie mit einem digitalen Multimeter, ob auf der Platine Spannungen anliegen. Fehlende Spannungen deuten auf ein Problem in der Stromversorgung hin.
- > **Schritt 4:** Falls die obigen Schritte nicht zum Erfolg führen, überprüfen Sie die Stromschienen, Sicherungen und Kabel im Stromschrank. Kontrollieren Sie auch die Stromzufuhr zum gesamten ESO-System.

Technischer Defekt: Sollte ein technischer Defekt vorliegen, können folgende Komponenten ggf. ausgetauscht werden: Display selbst, Kabelbaum (Verbindungskabel) für das Display, Steuerplatine oder Transformator. Kontaktieren Sie in diesem Fall den Service.

8.2.3 Keine erkennbare Kompensation

Symptom: Trotz aktiver Anlage verbessert sich der Leistungsfaktor nicht.

Mögliche Ursachen und Lösungen:

- > **Die Last ist zu gering:** Die ESO-Anlage benötigt eine Mindestlast von etwa 10% der Nennleistung, um effektiv arbeiten zu können. Bei sehr geringer Last ist keine Kompensation nötig oder möglich.
- > **Keine induktiven Verbraucher aktiv:** Wenn nur ohmsche/kapazitive Lasten (Heizungen, Glühlampen, LED, Bildschirme etc.) aktiv sind, gibt es nichts zu kompensieren. Überprüfen Sie, ob Motoren oder andere induktive Verbraucher laufen.
- > **Rogowski-Spulen nicht richtig geschlossen:** Selbst ein kleiner Spalt in der Spule führt zu drastischen Messfehlern. Öffnen und schließen Sie alle Spulen nochmals sorgfältig.
- > **Defekte Kondensatoren:** In seltenen Fällen können Kondensatoren ausfallen. Dies wird meist durch eine rote LED angezeigt. Kontaktieren Sie in diesem Fall den Service.

8.2.4 Übermäßige Erwärmung (Sofortmaßnahmen)

Symptom: Die Anlage wird ungewöhnlich warm oder heiß.

- > Überprüfen Sie die Umgebungstemperatur. Bei über 40°C Umgebungstemperatur kann die Anlage ihre Wärme nicht mehr ausreichend abgeben. Verbessern Sie die Belüftung oder verlegen Sie die Anlage.
- > Kontrollieren Sie die Belüftungsöffnungen auf Verstopfungen. Staub oder Fremdkörper können die Luftzirkulation behindern. Reinigen Sie vorsichtig mit Druckluft.

- > Prüfen Sie auf Überlast. Die Displays zeigen den aktuellen Kompensationsstrom. Liegt dieser dauerhaft nahe am Maximum (200A), ist die Anlage überlastet und eine zweite Einheit sollte installiert werden.
- > Messen Sie die Netzspannung. Überspannung führt zu erhöhter Belastung der Kondensatoren. Bei dauerhaft über 250V sollten Maßnahmen zur Spannungsregulierung ergriffen werden.

8.3 Notfallmaßnahmen

8.3.1 Rauchentwicklung oder Brandgeruch

Sofort die Anlage spannungsfrei schalten! Ziehen Sie die Sicherungen oder betätigen Sie den vorgelagerten Schalter. Informieren Sie umgehend den Verantwortlichen und kontaktieren Sie den Service. Die Anlage darf erst nach einer gründlichen Überprüfung wieder in Betrieb genommen werden.

8.3.2 Wassereintritt

Wenn Wasser in die Anlage eingedrungen ist (z.B. durch einen Rohrbruch), muss sie sofort abgeschaltet und gründlich getrocknet werden. Elektronische Komponenten können durch Feuchtigkeit dauerhaft beschädigt werden. Eine Wiederinbetriebnahme darf erst nach vollständiger Trocknung und Isolationsprüfung erfolgen.

8.3.3 Mechanische Beschädigung

Bei mechanischer Beschädigung (z.B. durch Gabelstapler-Unfall) muss die Anlage außer Betrieb genommen und überprüft werden. Selbst wenn äußerlich nur geringe Schäden sichtbar sind, können interne Verbindungen gelöst oder Komponenten beschädigt sein.

9 WIRTSCHAFTLICHKEIT UND EINSARPOTENZIALE

9.1 Die ökonomische Dimension der Netzqualität

Die wirtschaftlichen Auswirkungen schlechter Netzqualität werden oft unterschätzt. Viele Unternehmer fokussieren sich auf die offensichtlichen Energiekosten - die monatliche Stromrechnung - und übersehen dabei die versteckten Kosten, die durch ineffiziente Energienutzung entstehen.

9.1.1 Direkte Energiekosteneinsparungen

Die direkten Einsparungen durch die ESO-Anlage ergeben sich aus der Reduktion der Energieverluste im betriebseigenen Netz. Basierend auf umfangreichen Feldstudien und wissenschaftlichen Untersuchungen lassen sich folgende Einsparpotenziale quantifizieren:

Reduktion der I^2R -Verluste durch Blindstromkompensation: Wie die ZVEI-Studie zeigt, können allein durch die Verbesserung des Leistungsfaktors 1-4% der Energiekosten eingespart werden. In einem Betrieb mit einem ursprünglichen $\cos \phi$ von 0,7 und einer Verbesserung auf 0,98 reduziert sich der Leitungsstrom um etwa 30%, was die Leitungsverluste nahezu halbiert.

Verminderung der Oberschwingungsverluste: Die Filterung von Oberschwingungen reduziert die zusätzlichen Verluste, die durch Verzerrungsströme entstehen. Je nach Oberschwingungsgehalt können hier 2-5% eingespart werden. In extremen Fällen, wie dem von Key und Lai untersuchten Bürogebäude, waren es sogar 8%.

Optimierung der Motoreffizienz: Durch die saubere Sinusform der Spannung arbeiten Motoren näher an ihrem optimalen Betriebspunkt. Dies bringt zusätzliche 1-3% Einsparung. Besonders ältere Motoren profitieren stark von der verbesserten Netzqualität.

In Summe ergeben sich realistische Gesamteinsparungen von 10-15% der Energiekosten.² Bei einem mittelständischen Betrieb mit jährlichen Stromkosten von 100.000 Euro bedeutet dies eine Einsparung von 10.000-15.000 Euro pro Jahr.

9.1.2 Indirekte Kosteneinsparungen

Neben den direkten Energieeinsparungen ergeben sich erhebliche indirekte Einsparungen:

- > **Verlängerte Lebensdauer von Betriebsmitteln:** Die Reduzierung der thermischen Belastung verlängert die Lebensdauer von Motoren, Transformatoren und anderen elektrischen Komponenten erheblich. Die Arrhenius-Regel besagt, dass eine Temperaturreduktion um 10°C die Lebensdauer von Isoliermaterialien verdoppelt. Bei typischen Temperaturreduktionen von 5-15°C durch die ESO-Anlage ergibt sich eine Lebensdauerverlängerung von 40-100%.
- > **Reduzierte Ausfallzeiten:** Saubere Netzspannung bedeutet weniger Störungen bei empfindlichen Steuerungen und Elektronik. Produktionsausfälle durch Netzstörungen können extrem teuer sein - oft übersteigen die Kosten eines einzigen Ausfalls die jährlichen Energiekosten.
- > **Vermeidung von Blindstromkosten:** Viele Energieversorger berechnen Strafgebühren für schlechte Leistungsfaktoren. Diese können mehrere tausend Euro pro Jahr betragen und werden durch die ESO-Anlage vollständig eliminiert.
- > **Erhöhte Netzkapazität:** Durch die Reduktion des Scheinstroms wird Kapazität im bestehenden Netz frei. Dies kann teure Erweiterungen der elektrischen Infrastruktur vermeiden oder verzögern.

9.2 Amortisationsrechnung

9.2.1 Investitionskosten

Die Gesamtinvestition setzt sich zusammen aus:

- > Anschaffungskosten der ESO-Anlage³
- > Installationskosten (typisch 800 € pro Modul)
- > Eventuelle bauliche Anpassungen

9.2.2 Jährliche Einsparungen

Bei den oben genannten Rechenbeispiel ergibt sich eine direkte Energiekosteneinsparung: 10.000-15.000 €/Jahr

9.2.3 Amortisationszeit

Im Durchschnitt ergibt sich eine Amortisationszeit von typischerweise 2 bis 3 Jahren. Dies ist außergewöhnlich kurz für eine Investition in Energieeffizienz und macht die ESO-Anlage zu einer der wirtschaftlichsten Maßnahmen zur Kostensenkung.

Nach der Amortisation generiert die Anlage reinen Gewinn. Bei einer Lebensdauer von 15 Jahren ergibt sich ein ROI (Return on Investment) von 500-1000%.

² Durchschnittswerte. Reale Einsparung u.a. abhängig von Branche, Endgeräten und Nutzungsverhalten

³ Vgl. Verkaufspreisliste

10 SICHERHEIT, NORMEN UND ZERTIFIZIERUNGEN

10.1 Umfassende Sicherheitskonzeption

Die ESO-Anlage wurde von Grund auf mit einem umfassenden Sicherheitskonzept entwickelt. Dies beginnt bei der Auswahl der Komponenten und endet bei der regelmäßigen Überprüfung im Betrieb.

10.1.1 Elektrische Sicherheit

Die elektrische Sicherheit wird durch mehrere Ebenen gewährleistet:

- > **Primärer Schutz durch Isolation:** Alle spannungsführenden Teile sind mit hochwertigen Isoliermaterialien geschützt. Die Isolierung ist für Spannungen bis 1000V ausgelegt, obwohl die Betriebsspannung maximal 480V beträgt. Diese Überdimensionierung bietet zusätzliche Sicherheit bei Überspannungen.
- > **Sekundärer Schutz durch das Gehäuse:** Das geschlossene Metallgehäuse mit Schutzart IP42 verhindert den Zugang zu spannungsführenden Teilen.
- > **Tertiärer Schutz durch Erdung:** Der obligatorische Schutzleiteranschluss stellt sicher, dass im Fehlerfall keine gefährlichen Berührungsspannungen auftreten können. Das Gehäuse und alle metallischen Teile sind mit dem PE verbunden.

Die Spannungsfestigkeit wurde gemäß EN 60950-1 mit 3000V AC zwischen Netz und Gehäuse getestet. Dies ist weit mehr als die normativ geforderten 1500V und bietet eine hohe Sicherheitsmarge.

10.1.2 Thermische Sicherheit

Überhitzung ist eine potenzielle Gefahr bei allen elektrischen Anlagen. Die ESO-Anlage verfügt über mehrere Schutzmechanismen:

- > Die verwendeten Materialien sind flammhemmend nach UL94 V-0. Dies bedeutet, dass sie selbstverlöschend sind und keine brennenden Tropfen bilden.
- > Die natürliche Konvektion wurde durch die Gehäusekonstruktion optimiert. Warme Luft kann oben austreten, während kühle Luft unten nachströmt.

10.1.3 Mechanische Sicherheit

Die robuste mechanische Konstruktion gewährleistet Sicherheit auch unter widrigen Bedingungen:

Das Gehäuse aus 2mm starkem Stahlblech widersteht mechanischen Einwirkungen. Die Schutzart IK10 bedeutet, dass es einem Schlag von 20 Joule standhält.

Alle Befestigungen sind vibrationssicher ausgeführt. Selbst in Umgebungen mit starken Vibrationen (z.B. neben großen Maschinen) lösen sich keine Verbindungen.

Scharfe Kanten wurden konsequent vermieden oder entgratet. Dies reduziert die Verletzungsgefahr bei Installation und Wartung.

10.2 Normkonformität

10.2.1 Niederspannungsrichtlinie 2006/95/EG

Diese fundamentale EU-Richtlinie definiert die Sicherheitsanforderungen für elektrische Geräte. Die ESO-Anlage wurde vollständig nach den harmonisierten Normen dieser Richtlinie entwickelt und getestet.

Die Prüfung nach EN 60950-1:2006+A11:2009+A1:2010 "Sicherheit von Einrichtungen der Informationstechnik" wurde mit dem Ergebnis "BESTANDEN" abgeschlossen. Diese Norm ist eine der strengsten Sicherheitsnormen und deckt alle Aspekte der elektrischen, mechanischen und thermischen Sicherheit ab.

10.2.2 EMV-Richtlinie 2004/108/EG

Die elektromagnetische Verträglichkeit ist besonders wichtig, da die ESO-Anlage mit schnellen Schaltvorgängen arbeitet. Umfangreiche Tests haben gezeigt, dass die Anlage weder unzulässige Störungen aussendet noch durch externe Störungen in ihrer Funktion beeinträchtigt wird.

Die Einhaltung der Normen EN 61000-6-2 (Störfestigkeit) und EN 61000-6-4 (Störaussendung) wurde nachgewiesen. Dies garantiert, dass die ESO-Anlage problemlos neben empfindlichen elektronischen Geräten betrieben werden kann.

10.2.3 RoHS-Richtlinie 2011/65/EU

Die Beschränkung gefährlicher Substanzen in Elektrogeräten ist ein wichtiger Umweltaspekt. Die ESO-Anlage ist vollständig RoHS-konform, enthält also keine der verbotenen Substanzen wie Blei, Quecksilber oder Cadmium über den zulässigen Grenzwerten.

10.2.4 EG-Konformität⁴

Die CE-Kennzeichnung bestätigt, dass das Produkt allen anwendbaren EU-Richtlinien entspricht. Die EG-Konformitätserklärung liegt der Anlage bei und kann jederzeit bei Behördeninspektionen vorgelegt werden.

10.3 Prüfungen und Zertifizierungen

Neben der Einhaltung der Normen wurde die ESO-Anlage umfangreichen Tests unterzogen

10.3.1 Werkseitige Prüfung

Funktionsprüfung: Alle Funktionen werden unter Last getestet. Die Kompensation, Filterung und Anzeigen müssen einwandfrei funktionieren.

10.3.2 Prüfung nach VDE 0701/0702

Diese Prüfung "Prüfung nach Instandsetzung, Änderung elektrischer Geräte" wird bei jeder Anlage durchgeführt und dokumentiert. Das Prüfprotokoll wird mitgeliefert und dient als Nachweis der elektrischen Sicherheit.

Die Prüfung umfasst:

- > Sichtprüfung auf äußere Schäden
- > Messung des Schutzleiterwiderstands
- > Messung des Isolationswiderstands
- > Ersatzableitstrommessung
- > Funktionsprüfung

⁴ Vgl. 11.8 EG-Konformitätserklärung

II ANHÄNGE UND REFERENZEN

II.1 Wissenschaftliche Grundlagen

Die Wirksamkeit der ESO-Technologie basiert auf soliden wissenschaftlichen Erkenntnissen, die in zahlreichen Studien dokumentiert sind:

Die Studie des ZVEI "Beitrag industrieller Blindleistungs-Kompensationsanlagen und -Verbraucher für ein innovatives Blindleistungs-Management in der Stromversorgung" von Prof. Dr.-Ing. Oliver Brückl (2013) zeigt eindrucksvoll das Potenzial der Blindleistungskompensation. Die Studie quantifiziert die möglichen Einsparungen auf nationaler Ebene und kommt zu dem Schluss, dass erhebliche Effizienzsteigerungen möglich sind.

Der Kommentar von Dipl.-Ing. Bernhard Wendlandt zu dieser Studie unterstreicht die praktische Bedeutung: "Ein verringerter Blindleistungsanteil macht sich in der Stromkostenbilanz entlastend bemerkbar. Das Blindleistungs-Management z.B. in Betrieben, die auf drehzahlgeregelte Antriebe umgestellt haben, bietet sich daher schon aus Kostengründen an."

Die IEEE-Publikation "Effectiveness of harmonic mitigation equipment for commercial office buildings" von Key und Lai (1997) liefert konkrete Messdaten zu Oberschwingungsverlusten. Die Autoren zeigen, dass bis zu 8% der Energie durch Oberschwingungen verloren gehen können.

II.2 Technische Hintergrundinformationen

II.2.1 Das Problem der Spannungsreduktion

Es ist wichtig zu verstehen, warum die ESO-Anlage nicht auf dem Prinzip der Spannungsreduktion basiert. Einige Anbieter propagieren die einfache Absenkung der Netzspannung als Energiesparmaßnahme. Dies mag bei rein ohmschen Verbrauchern funktionieren, ist aber bei motorischen Lasten kontraproduktiv.

Ein Asynchronmotor benötigt ein bestimmtes Drehmoment, um seine Last zu bewegen. Das Drehmoment ist proportional zum Quadrat der Spannung ($M \propto V^2$). Bei reduzierter Spannung sinkt das verfügbare Drehmoment drastisch. Um dennoch die gleiche mechanische Leistung zu erbringen, muss der Motor mehr Strom ziehen.

Dieser erhöhte Strom führt zu überproportional steigenden I^2R -Verlusten in den Motorwicklungen. Die resultierende Erwärmung beschleunigt die Alterung der Isolation dramatisch. Die "10-Grad-Regel" besagt, dass jede Erhöhung der Betriebstemperatur um 10°C die Lebensdauer der Motorisolation halbiert.

Die ESO-Anlage geht einen fundamental anderen Weg: Sie belässt die Spannung auf dem optimalen Niveau und verbessert stattdessen die Qualität des Stroms.

II.2.2 Berechnung der Verluste

Die Verluste in einem elektrischen System lassen sich präzise berechnen:

Leitungsverluste: $P_{\text{Verlust}} = I^2 \times R$

Dabei ist I der Effektivstrom und R der Leitungswiderstand. Bei einem schlechten Leistungsfaktor oder hohem Oberschwingungsgehalt ist I deutlich höher als der reine Wirkstrom.

Beispiel: Ein Motor mit 10 kW Leistung bei $\cos \phi = 0,7$:

- | | |
|----------------------------------|---|
| > Wirkstrom: | $I_{\text{Wirk}} = 10000\text{W} / (\sqrt{3} \times 400\text{V} \times 0,7) = 20,6\text{A}$ |
| > Scheinstrom: | $I_{\text{Schein}} = 20,6\text{A} / 0,7 = 29,4\text{A}$ |
| > Erhöhung der Leitungsverluste: | $(29,4/20,6)^2 = 2,04 = 104\%$ mehr Verluste! |
-

Transformatorverluste setzen sich zusammen aus:

- > Kupferverlusten (lastabhängig): $P_{Cu} = I^2 \times R_{Cu}$
- > Eisenverlusten (spannungsabhängig): $P_{Fe} = P_{Hysterese} + P_{Wirbelstrom}$

Oberschwingungen erhöhen beide Verlustarten, da sie sowohl den Effektivstrom erhöhen als auch zusätzliche Wirbelströme im Kern induzieren.

11.3 Glossar

Blindleistung:	Elektrische Leistung, die zwischen Quelle und Verbraucher pendelt, ohne Arbeit zu verrichten. Wird für den Aufbau von Magnetfeldern benötigt.
$\cos \phi$ (Leistungsfaktor):	Verhältnis von Wirkleistung zu Scheinleistung. Ein Wert von 1 bedeutet reine Wirkleistung, niedrigere Werte zeigen Blindleistungsanteil an.
Oberschwingungen:	Vielfache der Grundfrequenz (50 Hz), die durch nichtlineare Verbraucher erzeugt werden und die Sinusform des Stroms verzerren.
THD (Total Harmonic Distortion):	Maß für den Oberschwingungsgehalt, ausgedrückt als Prozentsatz der Grundschwingung.
Rogowski-Spule:	Spezieller Stromwandler ohne Eisenkern, der berührungslos Ströme misst und nicht sättigen kann.
Transienten:	Kurzzeitige Spannungs- oder Stromspitzen, die durch Schaltvorgänge oder externe Einflüsse entstehen.
I^2R-Verluste:	Thermische Verluste in Leitungen, proportional zum Quadrat des Stroms und zum Widerstand.
Arrhenius-Gesetz:	Beschreibt die Temperaturabhängigkeit chemischer Reaktionen, hier die Alterung von Isolationsmaterialien.
Phasenunsymmetrie:	Ungleiche Spannungen oder Phasenwinkel zwischen den drei Phasen eines Drehstromsystems.

11.4 Normenverzeichnis

EN 60950-1:	Sicherheit von Einrichtungen der Informationstechnik
VDE 0701/0702:	Prüfung nach Instandsetzung, Änderung elektrischer Geräte
IEC 60038:	IEC-Normspannungen
EN 61000-2-4:	Verträglichkeitspegel für niederfrequente leitungsgeführte Störgrößen
IEEE 519:	Recommended Practice for Harmonic Control
VDE 0100:	Errichten von Niederspannungsanlagen
EN 50160:	Merkmale der Spannung in öffentl. Elektrizitätsversorgungsnetzen

11.5 Kontaktinformationen

ESO Elektronische Stromoptimierung

Inhaber: Michael Grün



Hauptsitz:

Merianstraße 49
D-76646 Bruchsal
Deutschland

Kommunikation:

Telefon: +49 (0) 7251 3929172
Fax: +49 (0) 7251 3917477
Supporthotline: +49 (0) 155 61023479 (auch per WhatsApp)
E-Mail: info@eso-anlage.de
Internet: www.eso-anlage.de

11.6 Kontaktinformationen Technischer Service

Groß Elektrotechnik GmbH & Co. KG

Rüdiger Müller (Geschäftsführer)



Hauptsitz:

Mergelgrube 7
D-76646 Bruchsal
Deutschland

Kommunikation:

E-Mail: info@elektrogross.com

11.7 Technisches Datenblatt

Parameter	Spezifikation
Bezeichnung	ESO – Elektronische Stromoptimierung (Kompensationsanlage)
Funktion	Elektronische, dynamische Steuerungs- und Kompensationsanlage für induktive Verbraucher
Gerätetypen	ESO (nur für Innenräume geeignet) Bei Bedarf mehrere Geräte
Betriebsspannung	120V/240V, 230V/380V, 240V/480V dreiphasig, 50–60 Hz
Temperaturbereich	-40 °C bis +75 °C
Steuerung	RTOS-Mikroprozessor und je drei Rogowski-Spulen
Anzeigen	LCD-Display: Spannung, Strom, Leistungsfaktor $\cos \phi$, Netzfrequenz LED-Statusübersicht der aktiven Kondensatoren und Software-Aktivität
Eigenstrombedarf	ca. 25 Watt
Belastbarkeit	200 A pro Phase (leistungsstärkstes Gerät) Bei höheren Stromstärken: Kaskadierung mehrerer Geräte erforderlich
Zertifikate	EG-Konformitätserklärung
Besonderheiten	Jedes Gerät wird vor Auslieferung gemäß VDE 0701/0702 geprüft
Gewicht	Bis zu 38 kg (abhängig von Leistungsgröße)
Abmessungen	Standard: L = 60 cm, B = 60 cm, T = 22 cm Variabel je nach Kundenanforderungen und Leistungsgröße
Rogowski Spulen	100A/6.6Vac @50/60Hz Innendurchmesser 85mm
Farbe	Lichtgrau

II.8 EG-Konformitätserklärung

Hiermit erkläre ich

Michael Grün (Inhaber Einzelfirma)

ESO Elektronische Stromoptimierung

Anschrift: Merianstrasse 49, 76646 Bruchsal

als EU-Importeur in alleiniger Verantwortung, dass das Produkt (Interne Bezeichnung)

- > Typen-Bezeichnung: ESO Elektronische Stromoptimierung (Kompensationsanlagen)
- > Kurzbezeichnung auf Magnetschild: ESO

mit der CE-Konformitätserklärung durch den Hersteller den Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen der folgenden EG-Richtlinien entspricht:

Geltende Richtlinien:

- > Allgemeine Produktsicherheit gemäß der Richtlinie 2001/95/EG: Erste Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (Verordnung über die Bereitstellung elektrischer Betriebsmittel zur Verwendung innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen auf dem Markt) vom 11. Juni 1979 (BGBl. I S. 629), die zuletzt durch Artikel 15 des Gesetzes vom 8. November 2011 (BGBl. I S. 2178) geändert worden ist.
- > Niederspannungsrichtlinie 2006/95/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Dezember 2006 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten betreffend elektrische Betriebsmittel zur Verwendung innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen.
- > EMV-Richtlinie 2004/108/EG: Elektromagnetische Verträglichkeit: Die Europäische EMV-Richtlinie definiert elektromagnetische Verträglichkeit als die Fähigkeit eines Apparates, einer Anlage oder eines Systems, in der elektromagnetischen Umwelt zufriedenstellend zu arbeiten, ohne dabei selbst elektromagnetische Störungen zu verursachen, die für alle in dieser Umwelt vorhandenen Apparate, Anlagen oder Systeme unannehmbar wären.

Zusätzlich eingehaltene Richtlinien:

- > RoHS-Richtlinie 2011/65/EU
- > Messgeräte 2004/22/EG

Testverfahren und Normen:

- > EN 55022: 2006 + A1: 2007; EN 61000-3-2: 2006 + A1: 2009
- > EN 61000-3-3: 2008; EN 55024: 1998 + A1: 2001 + A2: 2003
- > IEC 61000-4-2: 2009; IEC 61000-4-3: 2006
- > IEC 61000-4-4: 2004 + A1: 2010; IEC 61000-4-5: 2006
- > IEC 61000-4-6: 2009; IEC 61000-4-8: 2005; IEC 61000-4-11: 2004

Qualitätsprüfung:

Jedes Gerät wird komplettiert und nach VDE 0701 / 0702 geprüft.


Inhaber Michael Grün
Merianstrasse 49 | D-76646 Bruchsal
Tel. 07231 3529172
E-Mail: info@eso-anlage.de
www.eso-kompensationsanlage.de

Michael Grün Inhaber Einzelfirma (Zusatzbezeichnung ESO-Elektronische Stromoptimierung)

19.05.2022

SCHLUSSWORT

Die ESO Elektronische Stromoptimierung repräsentiert den Stand der Technik in der betrieblichen Energieeffizienz. Durch die intelligente Kombination von bewährter Kompensationstechnologie mit modernster Steuerungselektronik werden Einsparpotenziale erschlossen, die bisher verborgen blieben.

Die Installation einer ESO-Anlage ist mehr als eine Investition in Energieeffizienz - es ist eine Investition in die Zukunftsfähigkeit Ihres Unternehmens. In Zeiten steigender Energiepreise und verschärfter Umweltauflagen ist die Optimierung des betriebseigenen Stromnetzes nicht nur wirtschaftlich sinnvoll, sondern auch ein wichtiger Beitrag zum Klimaschutz.

Wir danken Ihnen für Ihr Vertrauen in unsere Technologie und stehen Ihnen bei Fragen jederzeit gerne zur Verfügung.



Herausgeber:
ESO Elektronische Stromoptimierung
Inhaber: Michael Grün
Merianstraße 49 · D-76646 Bruchsal
Tel.: +49 (0) 7251 39 29 172
www.eso-anlage.de
info@eso-anlage.de

Zusatzhinweise zum ESO-Gehäuse:

Die gezeigten Produktbilder in dieser Broschüre sind Musterbeispiele. Die Maße und Aussehen der Anlage können je nach Kundenansprüchen und Leistungsgröße variieren. Bei kleineren Leistungsgrößen oder Platzverhältnissen beim Endkunden können auch andere Gehäuse Anwendung finden. Diese können größer oder kleiner sein.

© 2025 ESO Elektronische Stromoptimierung

Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit schriftlicher Genehmigung.

Stand: 11/2025

Technische Änderungen vorbehalten.